

Gestión y sostenibilidad ambiental**Artículo de investigación científica y tecnológica**

Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de Tota, Colombia

Estimation of waste generated by the production of rainbow trout in Lake Tota, Colombia

Estimação dos desperdícios gerados pela produção de truta arco-íris no lago de Tota, Colômbia

Nixon Hernán Torres-Barrera,¹ Isnardo Antonio Grandas-Rincón²

¹ Ingeniero industrial, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Joven investigador, Grupo de Investigación Observatorio, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia. nixon.torres@uptc.edu.co

² Ingeniero industrial, Universidad Industrial de Santander. Profesor universitario, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia. isnardo.grandas@uptc.edu.co

Fecha de recepción: 06/05/2016

Fecha de aceptación: 19/01/2017

Para citar este artículo: Torres-Barrera NH, Grandas-Rincón IA. 2017. Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de Tota, Colombia. Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 18(2):247-255

DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:631

Resumen

En este artículo se estimaron los desperdicios totales procedentes de la producción de trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss* Walbaum (Salmoniformes: Salmonidae), en el lago de Tota, ecosistema de agua dulce ubicado en el departamento de Boyacá (Colombia), y su potencial impacto sobre este. La producción de trucha se desarrolla de manera intensiva en dicho lago desde 2005, utilizando jaulas inmersas. Con datos obtenidos de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (Aunap), la Corporación Autónoma Regional de Boyacá

(Corpoboyacá) y la Cámara de Comercio de Sogamoso, se identificaron los piscicultores, su ubicación geográfica en el lago y la producción autorizada de las fincas. Con esta información se calculó la cantidad de desperdicios producidos y las cantidades de nitrógeno y fósforo generados en este proceso. Según los resultados obtenidos, se evidencia la contaminación del lago por la producción intensiva de trucha y se recomienda mejorar o modificar los métodos de producción para minimizar la contaminación del agua.

Palabras clave: acuicultura, desechos del pescado, eutrofización, lago de Tota (Colombia), *Oncorhynchus mykiss*, sedimento

Abstract

In this study, the total waste from the production of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) (Salmoniformes: Salmonidae) in Lake Tota freshwater ecosystem, located in the Department of Boyacá, Colombia, and its potential impact on the lake was estimated. This economic activity has been carried out intensively since 2005 using submerged cages in the lake. With data obtained from the National Authority for Aquaculture and Fisheries (Aunap), the Autonomous Regional Corporation of Boyacá

(Corpoboyacá), and the Chamber of Commerce of Sogamoso, fish farmers, their geographical location on the lake, production by these farms were identified, and with this information the amount of waste produced, including the amounts of nitrogen and phosphorus generated in this process was calculated. The results indicate that the lake is polluted due to intensive trout production. It is recommended to improve or modify trout production methods that will minimize water pollution.

Key words: Aquaculture, Fish wastes, Eutrophication, Lake Tota (Colombia), *Oncorhynchus mykiss*, Sediment

Resumo

Neste artigo, foram estimados os desperdícios totais procedentes da produção de truta arco-íris, *Oncorhynchus mykiss* Walbaum (Salmoniformes: Salmonidae), no lago de Tota, ecossistema de água doce localizado no estado de Boyacá (Colômbia) e seu potencial impacto sobre este. A produção de truta se desenvolve de maneira intensiva nesse lago desde 2005, utilizando jaulas imersas. Com dados obtidos da Autoridade Nacional de Aquicultura e Pesca (Aunap), a Corporação Autônoma Regional

de Boyacá (Corpoboyacá) e a Câmara de Comércio de Sogamoso, identificaram-se os piscicultores, sua localização geográfica no lago e a produção autorizada das chácaras. Com essa informação, calcularam-se a quantidade de desperdícios produzidos e as quantidades de nitrogênio e fósforo gerados nesse processo. Com os resultados obtidos, evidencia-se a poluição do lago pela produção intensiva de truta e recomenda-se melhorar ou modificar os métodos de produção para minimizar a poluição da água.

Palavras chave: aquicultura, resíduo de peixe, eutroficação, lago de Tota (Colombia), *Oncorhynchus mykiss*, sedimento

Introducción

En Colombia existe una gran variedad de cuerpos de agua, la mayoría de ellos situados por encima de los 2.700 msnm, denominados *de alta montaña*. Las lagunas constituyen una red de amortiguación de caudales y sedimentos provenientes de las cuencas altas, que son una importante reserva hídrica para uso humano (García 2016). Por su capacidad y riqueza hídrica, estos cuerpos de agua se vienen utilizando para el desarrollo de actividades económicas en su entorno y en su interior.

El lago de Tota es la mayor reserva de agua dulce natural potable del país, con una superficie de 55 km², temperatura media de 12 °C y aproximadamente el 13,5% del agua disponible a nivel nacional (Colombia 2014). Se encuentra en el departamento de Boyacá, a 200 kilómetros al noreste de Bogotá, a una altitud de 3.015 msnm, y constituye la principal fuente de agua para cerca de 250.000 personas. Su cuenca es parte de los municipios de Aquitania, Tota y Cuítiva (Colombia 2014). En la cuenca y dentro del lago de Tota se desarrollan diferentes actividades socioeconómicas intensivas: cultivo de cebolla larga, acuicultura, turismo y ganadería. Cada una de estas actividades tiene un efecto sobre la cuenca y genera un grado de incertidumbre sobre las posibles consecuencias que puedan afectar al lago (Pérez-Holguín et al. 2016).

El cultivo de trucha arcoíris —la cual está catalogada como una de las cien especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (Lowe et al. 2004)— fue introducido en el lago de Tota en 1939 (Pérez-Preciado 2014). El ingreso de esta especie causó daños a las especies nativas, como el pez graso, *Rhizosomichthys totae* (Miles), posiblemente extinto (Rodríguez 1984). Se tiene evidencia que el cultivo en exceso de *O. mykiss* ha generado deterioros en las lagunas andinas de Junín (Perú), evento que se caracterizó por el incremento en las concentraciones de fósforo total y la disminución del oxígeno disuelto y de la transparencia del espejo de agua (Mariano et al. 2010).

El uso del alimento y las heces producidas hacen que el fósforo se acumule, principalmente, en los

sedimentos que se encuentran bajo las jaulas. Por esta razón su acumulación se utiliza como indicador de contaminación (Soto y Norambuena 2004). Igual se puede afirmar de las concentraciones de amonio (compuesto nitrogenado producto de la excreción de los peces) en las proximidades de jaulas, que producen crecimiento de microalgas (Troell et al. 1997). Estos compuestos se convierten en nutrientes del medio y generan lo que se conoce como fenómeno de eutrofización, el cual causa cambios en la diversidad, desequilibrio de las relaciones tróficas por pérdida del control por parte de los organismos consumidores, incremento en la intensidad y frecuencia de floraciones algales y disrupciones de funciones ecosistémicas (Lotze et al. 1999).

Del mismo modo, los diferentes químicos y antibióticos para combatir los brotes de enfermedades que afectan a las truchas se acumulan en el fondo y pueden favorecer las condiciones anaeróbicas, propicias al surgimiento de bacterias más resistentes (Rabassó 2006).

Para el seguimiento y control de la actividad acuícola en los diferentes cuerpos de agua dulce, existen regulaciones ambientales a nivel nacional e internacional: el Decreto 2811 de 1974, el Decreto 1541 de 1978, la Ley 13 de 1990, la Ley 99 de 1993, la Ley 373 de 1997 y la Ley 811 2003, así como los documentos emanados por el Departamento Administrativo de la Función Pública (2010) y las Naciones Unidas (2012).

Existen variados estudios que tratan sobre la contaminación por el cultivo de peces (Pardo et al. 2006), su impacto y tratamiento (Chaux et al. 2013). Algunos de estos estudios han evaluado el impacto sobre los ríos en términos de los cambios en la fauna bentónica. Como propuestas para el tratamiento de este problema se plantean soluciones encaminadas al cultivo de algas para controlar los niveles de oxígeno.

Este artículo aborda el tema de la acuicultura en el lago de Tota; evalúa la cantidad de desperdicios totales, nitrógeno y fósforo generados; y muestra el impacto potencial sobre la calidad del agua y, consecuentemente, sobre el ecosistema.

Materiales y métodos

El método de investigación utilizado fue exploratorio. Se partió de información sobre acuicultores y producción suministrada por la Aunap (2011), organización que licencia los permisos de producción máxima de acuerdo con la capacidad de las instalaciones y otros criterios propios. Igualmente, la Cámara de Comercio de Sogamoso (CCS 2015) suministró el registro de productores de trucha en el lago de Tota. A partir de estas fuentes se identificó el número de productores, la capacidad permitida de producción, la ubicación geográfica de jaulas, la oferta y la proyección de la acuicultura de trucha arcoíris en el lago de Tota.

La figura 1 muestra la localización de los productores de trucha por municipio. Con los datos de la Aunap (2016) sobre producción autorizada, se estimó la

cantidad de alimento necesario y, con base en la conversión a carne y desecho (Folke y Kautsky 1989; Buschmann et al. 1996), se calcularon las tasas y proyecciones de sedimentos y desechos estimados servidos al lago por esta actividad. Con los resultados obtenidos, se establecieron las cantidades de nitrógeno (N) y fósforo (P) que estarían ingresando al sistema según las conversiones de Vergara-Martín et al. (2005).

Resultados y discusión

Los resultados están en función exclusiva de la producción autorizada para los acuicultores publicada por la Aunap. La tabla 1 muestra la distribución de los piscicultores de trucha en el lago de Tota con la producción anual autorizada.

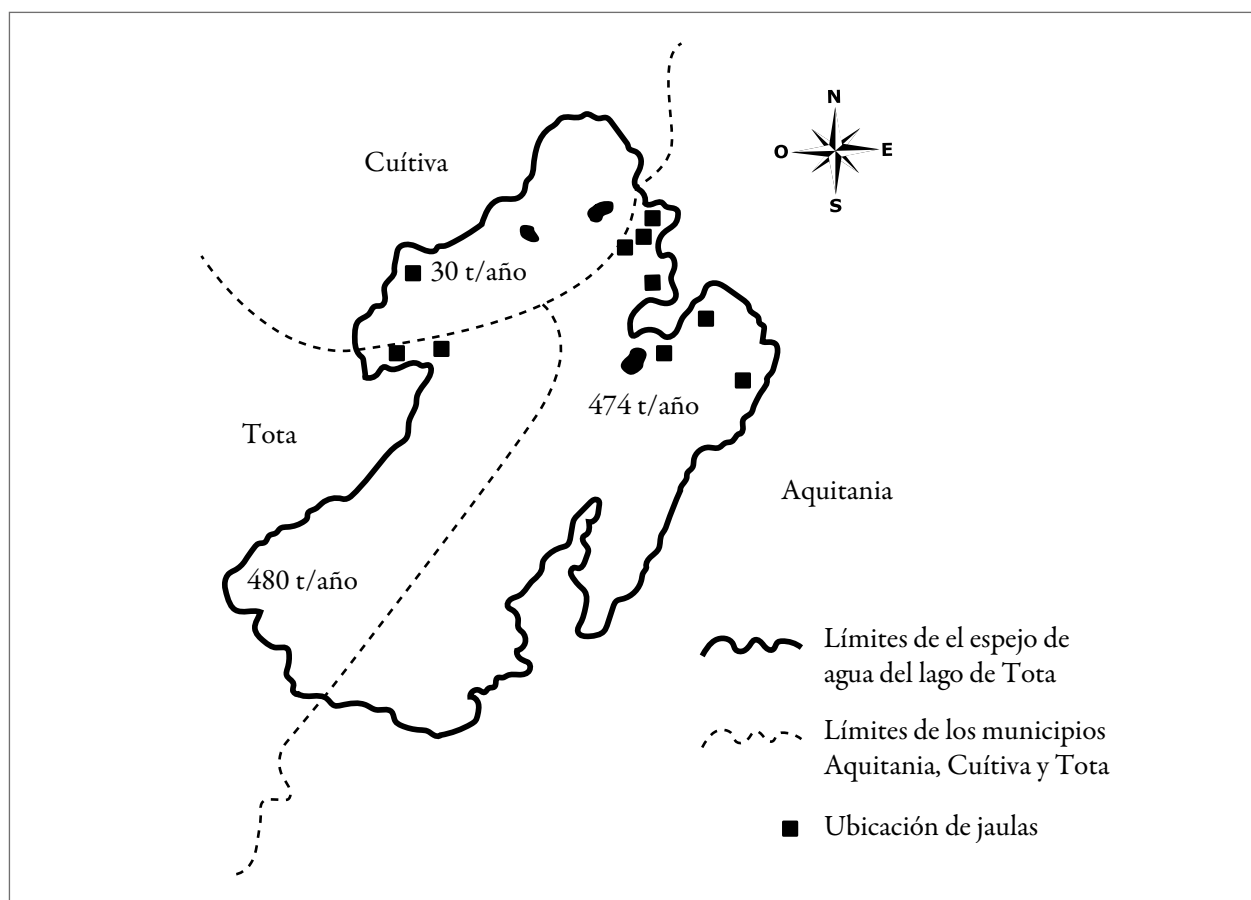


Figura 1. Ubicación y distribución de piscicultores y producción autorizada por municipio.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Degradación de diferentes organofosforados por diferentes microorganismos

Municipio	Número de propietarios autorizados	Producción autorizada (t/año)
Aquitania	5	474
Tota	4	480
Cuítiva	1	30
Total	10	984

Fuente: Elaboración propia

El total de la producción permitida actualmente en el lago de Tota es de 984 t/año. Con este dato se estimaron las tasas de carga de desechos anuales, teniendo en cuenta que para producir 1 kg de trucha se necesitan alrededor de 1,4 kg de alimento (Merino et al. 2013). El otro indicador es que el 25 % del

alimento se convierte en carne y el 75 % restante se vuelve nitrógeno, fósforo, carbono y pérdidas como alimento no capturado, como fecas no digeridas y otros productos de excreción (Folke y Kautsky 1989; Buschmann et al. 1996). En la tabla 2 se muestran las tasas de desecho estimadas.

Tabla 2. Tasas de ingreso de alimento y de desechos al sistema

Municipio	N.º de piscicultores	Volumen autorizado	Alimento utilizado	Desperdicios que ingresan al sistema	Porcentaje de participación
t/año					
Tota	4	480	672	504	49 %
Aquitania	5	474	664	498	48 %
Cuítiva	1	30	42	32	3 %
Total	10	984	1.378	1.033	100 %

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 2, el total de desperdicios de acuerdo con la autorización de producción por el ente gubernamental para 2011 es de 1.033 t/año. Se encontró también que para ese año la producción de trucha fue de 403 t (Merino et al. 2013) y que el comportamiento de la piscicultura continental en Colombia entre 2004 y 2014 (producción en cuerpos de agua dulce) viene creciendo con una tasa del 10,69 % (Fedecua 2014). Con la aplicación de la ecuación 1 a esta información, se estimó la producción de trucha para el año base de 2011 y se obtuvo la tasa mencionada (desde

la creación de las primeras empresas piscícolas en 2005 hasta 2020, año máximo autorizado de producción) (tabla 3).

$$y_{i\pm 1} = (1 \pm t) \cdot a_{i\pm 1} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde:

$y_{i\pm 1}$: valor estimado de producción de trucha

$a_{i\pm 1}$: valor de incremento o decremento

t : tasa de crecimiento de la acuicultura

i : (-6, 9); $i \neq 0$

Tabla 3. Proyección de desechos producto de la producción de trucha en el lago de Tota (2005-2020, año base 2011, tasa utilizada 10,69 %)

Año	Producción estimada	Alimento ingresado al sistema	Desperdicios que ingresan al sistema	Acumulado de desechos (t)
t/año				
2005	205	286	215	215
2006	229	321	240	455
2007	256	359	269	724
2008	287	402	301	1.026
2009	321	450	338	1.363
2010	360	504	378	1.741
2011	403	564	423	2.164
2012	446	625	468	2.633
2013	494	691	518	3.151
2014	547	765	574	3.725
2015	605	847	635	4.360
2016	670	938	703	5.063
2017	741	1.038	778	5.842
2018	820	1.149	861	6.703
2019	908	1.271	954	7.657
2020	1.005	1.407	1.056	8.712

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos mostrados en la tabla 3, se observa que la máxima producción autorizada por la Aunap en 2010 (984 t) se lograría entre 2019 y 2020 si no hay cambio en el número y cantidades de las autorizaciones.

Los índices de conversión de nitrógeno y fósforo por tonelada de cultivo de trucha producida es de 40,76 kg y 7,3 kg respectivamente de acuerdo con Vergara-Martín et al. (2005). Del año 2005 al 2016, de acuerdo con la tabla 3, se han producido 5.063 t de desechos acumulados que, según los índices de conversión, generarían 196 t de nitrógeno y 35 t de fósforo vertidos al lago. Estos elementos incentivan

la eutrofización del lago. El fósforo y el nitrógeno estarían principalmente en los sedimentos que se encuentran bajo las jaulas de cultivo, por lo que dichos sedimentos resultan ser un buen indicador de contaminación (Buschmann y Fortt 2005).

Si bien es cierto que el lago de Tota, por su capacidad (1.870 millones de metros cúbicos de agua en promedio) puede soportar un desarrollo económico importante para la población dependiente del recurso hídrico para piscicultura, esta misma actividad genera una gama de problemas asociados que pueden desarrollarse más rápido que la acción preventiva y de control que puedan llevar a cabo los entes

administrativos, gubernamentales y no gubernamentales o la población misma. El método actual de cultivo de truchas puede deteriorar la calidad del agua para consumo humano, pues la carga de nutrientes y las heces de aquellas favorecen la eutrofización. También el paisaje o belleza escénica del lugar está siendo afectado.

Los métodos y la tecnología utilizados en el sistema de jaulas se pueden mejorar. Por ejemplo, la empresa AgriMarine (2016) patentó la forma de construir estanques cerrados sumergidos para la producción sostenible de acuicultura, con sistemas de recuperación de desechos mediante filtración y tecnologías de control avanzado.

La implementación de tecnologías innovadoras exitosas como el sistema de recirculación en acuicultura (RAS), aplicado en Dinamarca, Chile, Argentina y otros países, podría ser una propuesta válida para ser considerada en los procesos intensivos de cultivo de trucha en el lago de Tota. Existen también sistemas que utilizan plantas acuáticas flotantes que se alimentan de fosfatos y nitritos y ayudan a la descontaminación.

Con estas tasas de contaminación permitidas, deben existir planes de contingencia por parte de las piscifactorías mediante un mantenimiento preventivo. Esto es para no llegar a los extremos de la desaparición forzada del cuerpo de agua natural, como ya sucedió en Perú. En este país se han reportado cambios significativos producidos por el cultivo intensivo de la trucha (*O. mykiss*) en siete lagunas andinas, según observaciones entre 2002 y 2007. El deterioro se caracterizó por el incremento en las concentraciones de fósforo total, la disminución del oxígeno disuelto y de la transparencia del agua (Mariano et al. 2010).

Otra dificultad en lagos y lagunas de alta montaña tropical es el reciclado de la materia orgánica en los sedimentos, puesto que en los lagos andinos —con una temperatura media de 11 °C—, el periodo de reciclaje es más lento que en otros lagos tropicales (Dejoux y Iltis 1991). Por otra parte, el aumento de materia orgánica en el fondo de los lagos produce hipoxia y anoxia, que conllevan la disminución

de la diversidad de las especies bentónicas y la predominancia de otras más tolerantes (Cornel y Whoriskey 1993).

Si bien la concentración de contaminantes puede ser muy baja por el volumen de agua del sistema y el deterioro se manifiesta lento y pasivo al comienzo, finalmente se vuelve agresivo, irreversible y exponencial en el caso de la eutrofización (FAO 1997).

Además de los controles sobre los desechos, se necesitan controles sobre los químicos introducidos al sistema, ya para prevenir o combatir enfermedades (generadas por factores como la tecnología de producción obsoleta), ya por contaminación del agua por agroquímicos (Cabello 2004).

Con los indicadores y los ejemplos mostrados se alerta sobre el manejo que se le está dando al recurso hídrico del lago de Tota.

Conclusiones

En el documento se muestran las cantidades en t/año de desechos, de nitrógeno y de fósforo aportados al agua del lago de Tota, calculados a 2016 y proyectados a 2020. Se estima que han ingresado, por la producción de trucha en jaulas en los últimos diez años, más de 5.000 t de desechos. Estos sedimentos incrementan la disminución de profundidad del lago y generan disminución del oxígeno disuelto, asimismo aumentan el fósforo total, la demanda química y bioquímica de oxígeno y los sólidos suspendidos totales.

La intervención en el lago de Tota por el desarrollo de actividades económicas, en especial por la acuicultura, viene generando un conflicto entre la naturaleza y los usuarios. La contaminación del lago por desechos procedentes del proceso de cultivo intensivo de trucha arcoíris es inminente.

Se necesitan estudios especializados, al detalle, de la columna de agua del lago y de las posibles sedimentaciones, con el fin de conocer la “capacidad de carga” que puede soportar el sistema.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a los funcionarios de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (Aunap), a la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá) y la Cámara de Comercio de Sogamoso (CCS) por su disponibilidad y colaboración en las diferentes etapas de esta investigación.

Descargos de responsabilidad

Este trabajo fue desarrollado como joven investigador ante la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en la elaboración ni publicación de los resultados de este estudio.

Referencias

- AgriMarine. 2016. Comox (BC), Canada: AgriMarine Holdings; [consultado 2016 ago 1]. <http://agrimarinetechnologies.com/>.
- [Aunap] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. 2011. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura; [consultado 2016 feb 1]. <http://aunap.gov.co/>.
- Buschmann A, Fortt A. 2005. Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. *Rev Ambiente Desarro*. 21:58-64.
- Buschmann AH, Troell M, Kautsky N, Kautsky L. 1996. Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia*. 326(1):75-82.
- Cabello FC. 2004. Antibiotics and aquaculture in Chile: Implications for human and animal health. *Rev Med Chil*. 132(8):1001-1006.
- [CCS] Cámara de Comercio de Sogamoso. 2015. Sogamoso, Colombia: CCS. [consultado 2015 may 1]. <http://camarasogamoso.org/>.
- Chaux G, Caicedo JR, Fernández JE. 2013. Tratamiento de efluentes piscícolas (tilapia roja) en lagunas con *Azolla pinnata*. *Biotechnol Sector Agropecuario Agroind*. 11(2):46-56.
- Colombia, Departamento Nacional de Planeación. Documento Conpes 3801, Manejo ambiental integral de la cuenca hidrográfica del lago de Tota. IGAC; [consultado 2014 nov 5]. Bogotá, Colombia: DNP, 31 de enero de 2014. <https://goo.gl/ruwSif>.
- Colombia, Presidencia de la República. Decreto 2811, Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. [consultado 2015 ene 30]. Bogotá, Colombia: Diario Oficial, 18 de diciembre de 1974. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>.
- Colombia, Presidencia de la República. Decreto 1541, Por el cual se reglamenta la parte III del libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas", y parcialmente la ley 23 de 1973. [consultado 2015 ene 30]. Bogotá, Colombia: Diario Oficial, 28 de julio de 1978. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1250>.
- Colombia, Congreso de la República. Ley 13, Por la cual se dicta el Estatuto General de Pesca. [consultado 2015 ene 30]. Bogotá, Colombia: Diario Oficial, 15 de enero de 1990. <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1569656>.
- Colombia, Congreso de la República. Ley 99, Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. [consultado 2015 ene 30]. Bogotá, Colombia: Diario Oficial 22 de diciembre de 1993. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>.
- Colombia, Congreso de la República. Ley 373, Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. [consultado 2015 ene 31]. Bogotá, Colombia: Diario Oficial, 6 de junio de 1997. <https://goo.gl/31xU6b>.
- Colombia, Congreso de la República. Ley 811, Por medio de la cual se modifica la Ley 101 de 1993, se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones. [consultado 2015 ene 31]. Bogotá, Colombia: Diario Oficial, 26 de junio de 2003. <https://goo.gl/HIGs9T>.
- Cornel GE, Whoriskey FG. 1993. The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. *Aquaculture*. 109(2):101-117.
- Dejoux C, Iltis A, editores. 1991. El lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz, Bolivia: Orstom e Hisbol.
- Departamento Administrativo de la Función Pública. 2010. 27 Corporaciones Autónomas Regionales y Desarrollo Sostenible. Cornare; [consultado 2015 feb 2]. <https://goo.gl/yQUT4L>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nation. 1997. Capítulo 3. Los fertilizantes, en cuanto contaminantes del agua. FAO; [consultado 2015 ago 13]. <http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s05.htm>.

- [Fedeacua] Federación Colombiana de Acuicultores. 2014. Producción de la acuicultura colombiana 2004-2014. Fedeacua; [consultado 2015 feb 3]. <https://goo.gl/Q2RmJE>.
- Folke C, Kautsky N. 1989. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio*. 18(4): 234-243.
- García A. Hidrografía de Colombia. Toda Colombia; [consultado 2016 mar 3]. <http://www.todacolombia.com/geografia-colombia/hidrografia-colombia.html>.
- Lotze HK, Schramm W, Schories D, Worm B. 1999. Control of macroalgal blooms at early developmental stages: *Pilayella littoralis* versus *Enteromorpha* spp. *Oecologia* 119(1):46-54.
- Lowe S, Browne M, Boudjelas S, De Poorter M. 2004. 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database. Global Invasive Species Database; [consultado 2014 nov 5]. <https://goo.gl/HYg8jT>.
- Mariano M, Huaman P, Mayta E, Montoya H, Chanco M. 2010. Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú. *Rev Perú Biol*. 17(1):137-140.
- Merino MC, Bonilla SP, Bages F. 2013. Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia. Aunap; [consultado 2014 nov 4]. <https://goo.gl/WrUARY>.
- Naciones Unidas. 2012. Río+20 Conferencia de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible. Naciones Unidas; [consultado 2015 ene 30]. <https://goo.gl/AESH1a>.
- Pardo S, Suárez H, Soriano E. 2006. Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Rev MVZ Córdoba*. 11(1 Supl):20-29.
- Pérez-Holguín WJ, Grandas-Rincón IA, Ramírez-Acevedo LN, Torres-Barrera NH. 2016. Identification of the main active ingredients of agrochemicals used around the Lake of Tota, Colombia. *Rev Cien Agri*. 13(1):91-106.
- Pérez-Preciado A. 2014. Lago de Tota: un ejemplo de lo que no se debe hacer en materia ambiental. Bogotá, Colombia: Sociedad Geográfica de Colombia.
- Rabassó KM. 2006. Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos. *Vector Plus Misc Cient Cultural*. 28: 89-98.
- Rodríguez H. 1984. Análisis sobre los efectos causados con la introducción de especies exóticas al medio acuático de Colombia. Bogotá D. C., Colombia: Inderena, Subgerencia de pesca y fauna terrestre.
- Soto D, Norambuena F. 2004. Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: a large-scale mensurative experiment. *J Appl Ichthyol*. 20(6):493-501.
- Troell M, Halling C, Nilsson A, Buschmann AH, Kautsky N, Kautsky L. 1997. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture*. 156(1-2):45-61.
- Vergara-Martín JM, Haroun-Tabraue RJ, González-Henríquez MN, coordinadores. 2005. Evaluación de impacto ambiental de acuicultura en jaulas en Canarias. Las Palmas, España: Oceanográfica.